

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920111152802

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

新型离线式高压 LED 驱动 IC 设计

A New Off-line HV LED IC Driver

张 慧

指导教师姓名: 冯勇建 教授

专 业 名 称: 测试计量技术与仪器

论文提交日期: 2014 年 4 月

论文答辩时间: 2014 年 5 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席:

评阅人:

2014 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

声明人(签名):

年 月

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

(☒) 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 2016 年 12 月 1 日解密，解密后适用上述授权。

(☐) 2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

摘要

传统离线式 (Offline) LED 驱动存在单位周期内 LED 有效点亮时间短, 而导致输出流明低和功率因数 (Power Factor Correction) 差。同时, 电网波动直接造成 LED 输出功率不稳定。加之可控硅调光器与 LED 兼容性差等不足严重限制了离线式 LED 的发展。针对这一现状, 本文设计了一款恒功率输出并兼容可控硅调光的分段离线式 LED 恒流驱动芯片。

本文提出了由 LED 负端电压信号反馈控制的内置并联高压开关 MOS 对 LED 进行分段驱动的结构, 保证了电压低时的 LED 导通, 解决了传统离线 LED 驱动只能在输入电压峰值附近点亮 LED 的问题, 增加了交流电源单位周期内 LED 被点亮的时间, 提高了 LED 的总输出流明。针对电网电压波动引起芯片输出功率变化的缺点, 设计了专用的高精度电压电流转换跨导放大器用于转换电压信号, 调节 LED 电流, 从而保证电网在 200Vrms~260Vrms 范围内波动, 输出功率变化小于 $\pm 5\%$ 。由于 LED 驱动电路非纯阻性导致可控硅电流不稳定, 调光器重复触发使灯无规律闪烁, 设计采用滞回比较器和恒流源, 实现了可控硅导通角的检测及可控硅维持电流的补偿, 消除了调光过程中出现的灯闪烁现象。此外, 温度补偿和过温保护功能, 进一步确保系统工作安全稳定。

本文使用 Pspice 软件进行电路仿真, L-Editor 软件进行版图制作, 采用 700V BCD 高压工艺, 工艺中的高压 LDNMOS 使得芯片输入耐压高达 700V。综合考虑成本、散热等方面的要求选择了性价比合理的 SOP8 封装。在芯片测试阶段使用了 Fuse Laser trim 技术, 在高精度带隙基准电路设计的基础上, 进一步将 LED 的电流精度提高至 3% 以上。测试结果显示芯片各项参数和功能实现达到设计预期, 有着良好的市场前景。

关键词: 分段恒流; 恒功率输出; 可控硅调光

Abstract

Traditional offline LED driver light the LED near the peak of the input voltage, which leads to efficient LED lighting time is short, the problem of low lumen output. Meanwhile, due to the transmission grid disturbance, low productivity and poor lack TRIAC dimming compatibility also severely limits the development of off-line LED. For this situation, we designed a high-performance off-segmented LED Constant stream driver chips.

In order to solve the LED on-time short question, four built-in high-voltage MOS segmented driver the LED. The four MOS are controlled by the respective driver amplifier. This structure ensures that a small number of LED is still turned on at low voltage. So the lights time of LED grow in the whole cycle of the AC power and LED lumens total output increase. Meanwhile, the grid voltage disturbance caused the input power of chip being unstable, when the grid voltage goes high may lead to chip overheating problems. Designed with a precision voltage current conversion transconductance amplifier will detect the input voltage into a current signal which is used to adjust the LED current. This ensure the grid fluctuate between 200Vrms and 260Vrms, the output power variation less than $\pm 5\%$. Chip detect TRIAC dimming angle and control the maintain current of TRIAC with a hysteretic comparator and a current source, that resolve TRIAC dimmers dimming LEDs occurring lights flicker without affecting efficiency. In addition, temperature compensation and over-temperature protection, to further ensure security and stability of the system.

This article uses the Pspice software for circuit simulation, L-Editor Software for territory production. The chip choose using high pressure on China 700V BCD process, the process of making high-pressure LDNMOS chip input voltage up to 700V. Considering the cost, thermal and other requirements select a reasonable cost package SOP8. During the testing phase, on the basis of high-precision bandgap reference circuit design, we use the fuse trim technology to achieve a high accuracy of LED current up to 3%. Test results show that the parameters and functions meet expectations, the chip have a good market prospects.

Key Words: stepwise constant current; constant output power; TRIAC dimming

目录

摘要.....	I
Abstract	II
目录.....	III
Table of Contents	VI
第一章 绪论	1
1.1 LED 照明市场发展趋势.....	1
1.2 新一代离线式 LED 驱动要求	1
1.3 本课题主要研究内容.....	3
第二章 芯片整体方案的实现与分析	4
2.1 LED 电气特性	4
2.2 高压 LED 驱动方案	5
2.3 高压 BCD 工艺	5
2.4 典型应用线路	6
2.5 分段恒流驱动结构设计	7
2.6 芯片整体构架设计	9
第三章 基本功能模块及辅助功能模块的设计与仿真	11
3.1 稳压电源模块	11
3.2 基准源模块	13
3.2.1 带隙基准及基准电流源模块.....	14
3.2.1.1 带隙基准的设计	14
3.2.1.2 基准电流源的设计	24
3.2.1.3 温度补偿和过温保护功能的设计	26
3.2.2 PSRR/TRIAC 参考电压模块.....	29
3.2.3 Vset 基准电压模块.....	31
3.3 恒流驱动模块	33

3.4 基准电压修正模块	34
3.5 芯片功能选择模块	38
第四章 PSRR 模块设计与 TRIAC 调光实现	39
4.1 PSRR 模块.....	39
4.1.1 LED 电流分段调节	40
4.1.2 LED 电流线性调节	41
4.2 TRIAC 调光	44
4.2.1 LED 的调光方案	44
4.2.2 TRIAC 可控硅调光原理	45
4.2.3 TRIAC 调光存在的问题	47
4.2.4 TRIAC 调光电路的设计	49
4.3 芯片整体仿真	52
第五章 芯片的版图设计与测试	57
5.1 芯片版图设计	57
5.1.1 芯片封装	57
5.1.2 整体版图布局.....	58
5.1.3 关键器件的匹配.....	59
5.1.3.1 关键 MOS 管的匹配.....	59
5.1.3.2 关键电阻的匹配	63
5.1.4 开尔文连接、ESD 保护及闩锁效应.....	63
5.1.4.1 开尔文连接.....	63
5.1.4.2 ESD 保护	64
5.1.4.3 闩锁效应.....	67
5.1.5 整体版图检查.....	69
5.2 芯片电气特性测试	70
5.2.1 芯片参数及可测性	70
5.2.2 测试方法及结果.....	71
5.2.3 测试数据分析.....	75
5.3 芯片功能测试	76

第六章 总结与展望	83
6.1 课题总结	83
6.2 课题展望	84
参考文献	85
致谢	89
攻读硕士学位期间的科研成果	90

厦门大学博硕士论文摘要库

Table of Contents

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English	II
Contents in Chinese	III
Contents in English.....	VI
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Development Trends for LED lighting industry	1
1.2 New demand from LED driver.....	1
1.3 Main work of this paper	3
Chapter 2 Implementation and analysis of overall scheme	4
2.1 Electrical characteristics of LED.....	4
2.2 HV LED driver scheme.....	5
2.3 HV BCD process	5
2.4 Typical application circuit	6
2.5 Stepwise constant current driver	7
2.6 Module partition of the chip.....	9
Chapter 3 Design and simulation of basic blocks and other blocks ..	11
3.1 HV LDO circuit.....	11
3.2 Reference block.....	13
3.2.1 Bandgap voltage and PTAT current source.....	14
3.2.1.1 Bandgap voltage	14
3.2.1.2 PTAT current source	24
3.2.1.3 Temperature protection	26
3.2.2 PSRR/TRIAC reference voltage	29
3.2.3 Vset reference voltage	31
3.3 Constant current driver.....	33
3.4 Trim circuit	34
3.5 Function choose block.....	38
Chapter 4 Design of PSRR function and TRIAC dimming	39
4.1 PSRR circuit.....	39

4.1.1 Segmented regulation of LED current.....	40
4.1.2 Linear regulation of LED current.....	41
4.2 TRIAC dimming	44
4.2.1 LED dimming	44
4.2.2 Working principle of TRIAC	45
4.2.3 TRIAC dimming issues	47
4.2.4 TRIAC dimming circuit.....	49
4.3 Overall simulation.....	52
Chapter5 Layout and test of the chip	57
5.1 Layout design	57
5.1.1 Devices package.....	57
5.1.2 Overall arrangement of layout	58
5.1.3 Layout of key devices.....	59
5.1.3.1 Layout of MOS.....	59
5.1.3.2 Layout of resistor.....	63
5.1.4 Kelvin connection,ESD protection and latch-up effect	63
5.1.4.1 Kelvin connection.....	63
5.1.4.2 ESD protection	64
5.1.4.3 Latch-up effect.....	67
5.1.5 Check overall layout.....	69
5.2 Electrical characteristics test	70
5.2.1 Electrical characteristics	70
5.2.2 Test plan and results	71
5.2.3 Analysis of test results	75
5.3 IC function test.....	76
Chapter 6 Summary and outlook.....	83
6.1 Summary	83
6.2 Further work.....	84
Reference	85
Acknowledgement.....	89
Publications and patents for inventions	90

第一章 绪论

1.1 LED 照明市场发展趋势

近年来由于环境问题的加重，低碳经济开始受到全球的重视，LED 照明产业凭借着 LED 节约能源、功耗低效率高、材料环保的优越性能，必将迎来宝贵的快速发展机会。在当前低碳经济的高呼声下，LED 照明产业发展迅速，竞争越来越激烈^[1]。促使 LED 产业快速发展、壮大的主要推动力大致有三个方面，首先，在照明亮度方面，100 流明/W 的光输出已经在许多大功率 LED 中得到实现，这是一个标志性的里程碑，并且预计在不久之后 150 流明/W 的输出也将实现。第二，在价格方面，为了吸引更多的消费者，LED 的生产厂家不断缩减成本，几年前专用白色二极管的价格高达 8 美元左右，而最近已经降至 1.5 美元。物美价廉的 LED 灯必将受到众多消费者的青睐，在未来的一年内，LED 很有可能取代白炽灯^[2-3]。第三，在节能方面，对于提供相同的光输出，传统白炽灯需要消耗 75W 的电功率，而 LED 仅仅需要输出 12W 就能产生与白炽灯相媲美的光，相当于 LED 节省了 85% 的功率^[4-5]。

近年来，LED 照明技术越发成熟，发光效率显著提升，驱动性能不断增强，以及封装技术更加精细可靠，这些优势都大大延长了 LED 的使用寿命，同时也意味着在未来几年内 LED 会走进千家万户^[6]。如今，全世界都在追求低碳经济，在这样的大环境下，LED 照明产业将扮演极为核心的角色，室外、室内照明以及街灯等高功率产品都将是 LED 的主要市场^[7-8]，尤其值得一提的是，LED 街灯的普及直接受到政府政策的影响，只要全球的街灯标准规格统一，就会成为照明产业中快速成长的第一棒^[9-10]。

1.2 新一代离线式 LED 驱动要求

从 LED 照明产业的发展能够显而易见的发现，LED 驱动技术发展的配合对推动 LED 产业的发展至关重要^[11]。最近几年，LED 产业发展迅猛归功于离线式电源驱动 LED 在商用和住宅建筑中的普及^[12-13]。在住宅照明领域，用户想要安

装 LED 照明,只需要将传统灯具更换成 LED 灯具,而且还可以利用以前安装的 TRIAC 调光器给 LED 调光,这个成本优势是离线式 LED 大量推广的重要原因^[14-15]。虽然对用户来说更换 LED 灯具实行起来比较简单,但是对新一代的离线式 LED 驱动 IC 却提出了更高的要求。这是因为 LED 的供电必须是恒定电流源,同时还能够进行良好的调节,以保持 LED 稳定的光亮度^[16-17],因此直接用市电给 LED 供电,并提供良好的驱动性能是一个很大的挑战,具体为以下五点:

1、不同的国家和地区,离线式电源的范围不同,最常见的两种是 110Vrms 供电,频率 60HZ 和 220Vrms 供电,频率为 50HZ。因此,要满足全球市场的 LED 灯驱动,理想情况是一种驱动方案适用于世界上任何地方市电的驱动 IC^[18]。

2、LED 替代传统白炽灯的最大优势是在提供相同光通量的条件下,LED 所需的功率仅为普通白炽灯的 25%,因此 LED 驱动 IC 必须要尽量减少功率损耗,保证 LED 的高效驱动。为了能更好的调节 LED 电流,离线式 LED 驱动必须将高压 AC 电源转换为较低的直流电压,同时提供高于 80%的效率是 LED 驱动 IC 的基本要求,如此才能不浪费功率^[19-20]。

3、TRIAC 调光器在许多商业、工业和家庭住宅中极为常见,若要尽快取代白炽灯,LED 驱动 IC 必需能有效地与这些调光器协调工作^[21]。传统调光器是专门为阻性负载白炽灯、卤素灯设计的,而 LED 是非线性非阻性负载,所以 LED 利用 TRIAC 调光时常常存在着闪烁现象,同时不同厂商生产的调光器也略有差异,要想将传统照明灯直接升级换代为 LED 灯,提高与调光器的兼容性势在必行^[22-23]。

4、PFC 是功率校正因数,如果负载所吸取的电流与输入电压成正比而且同相,那么就可以实现等于 1 的功率校正因数。在电网直接供电的 LED 应用中,PF 值是评判 LED 驱动 IC 性能的一个重要指标。简单来说,在一个电源系统中,若对不同负载输出相同大小的有用功率,那么功率因数低的负载比功率因数高的负载耗费的电流更大,更大的电流意味着配电系统中能量损耗的增加, $PFC > 0.9$ 已经成为了 LED 照明应用的普遍要求^[24]。

5、为了尽量减少用户更换 LED 的不便,应该做到整个 LED 解决方案要求的空间必须与原来的白炽灯体积和形状相同,用户只需要将 LED 直接旋进灯座就可以更换,所以对于 LED 照明方案的尺寸也是有要求的。在与白炽灯体积和

形状相同的空间中，LED 驱动需要塞进一个散热器和更加繁杂的驱动电路，同样也是个挑战^[25-26]。

1.3 本课题主要研究内容

新一代离线式 LED 对 LED 驱动器的提出了许多新的要求，而现阶段离线式 LED 驱动 IC 大多都适用于隔离反激式电路拓扑，对于这类的设计方案通常会在反激式 DC-DC 转换器前端采用大容量电容来平滑电路，以实现高压 AC-DC 转换，这种方案的致命弱点在于功率因数仅为 0.5~0.6。针对这一缺陷以及离线式 LED 的新要求，本课题设计了一款具有高可靠性、高效率、高功率因素、兼容可控硅 TRIAC 调光离线式 LED 驱动 IC，而且此驱动 IC 的整体方案无需大电容、大电感，满足球泡灯等小空间应用场合的要求。芯片采用内置高压 NMOS，输入耐压可达 700V，通过改变外置电阻可实现 LED 电流的设定，在市电输入电压变化时能保持输出功率恒定，同时设计中解决了 TRIAC 调光过程常常出现 LED 闪烁问题，此外，芯片还具有过温补偿和过温保护功能。

本课题研究内容如下：

- (1) 研究离线式 LED 驱动，特别是高压 LED 的离线式驱动结构；
- (2) 设计芯片内部线路构架，搭建外围应用线路，验证方案可行性；
- (3) 设计各个基本功能模块、核心模块电路，并利用仿真软件 Pspice 对各个功能模块以及整体线路做仿真验证，调整线路及器件参数，使其满足设计要求；
- (4) 选用 1 μ m 线宽 700V BCD 工艺，运用 L-Editor 软件绘制芯片版图，送交晶圆厂生产封装；
- (5) 编写芯片测试步骤文档，测试芯片电气特性，对相关参数进行分析并校正。对于存在的不符合设计要求的现象进行分析追踪，查找出是设计中的考虑不充足，还是应用线路的 PCB 板有误，或者是因为输入测试信号不对，测试操作不合理等因素导致的错误，如果是设计中造成的错误，那么必要时需要做改版处理。

第二章 芯片整体方案的实现与分析

2.1 LED 电气特性

LED (Light Emitting Diode), 又名发光二极管, 它的发光材料是固体半导体芯片, 当两端施加一定正向电压时, 半导体中的少数载流子与多数载流子将发生复合, 复合时产生的过剩能量引起光子发射, 可见光由此而来^[27]。P 型半导体和 N 型半导体组成的晶片是发光二极管的核心部分, 在 P 型半导体和 N 型半导体之间存在一个过渡层, 此称为 PN 结^[28-29]。LED 具有单向导电性, 若 PN 结加反向电压, 少数载流子难以注入, 故无法产生光能。由于不同的材料具有不同的带隙, 发出的光波长不一样, LED 呈现出红、橙、黄、绿、蓝等颜色^[30]。

LED 的发光强度与流过 LED 的电流大小直接相关, 其伏安特性曲线与普通 P-N 结类似, 需要特别注意的是, LED 光源是一个温度依赖性较强的光源, 温度的波动通常会导致光输出的明显变化^[31]。如图 2.1 是不同温度下白光 LED 灯的特性曲线, 可以观察到, 在不同温度下, LED 的正向导通压降有差异, 而且随着温度升高 LED 压降减小, 这是由于在当前的半导体制造水平上, 热传导是 LED 输入能量散发的主要形式, 大约有 80%~85%, 所以 LED 的自身散热和环境温度都对 LED 的稳定性有较大影响^[32]。

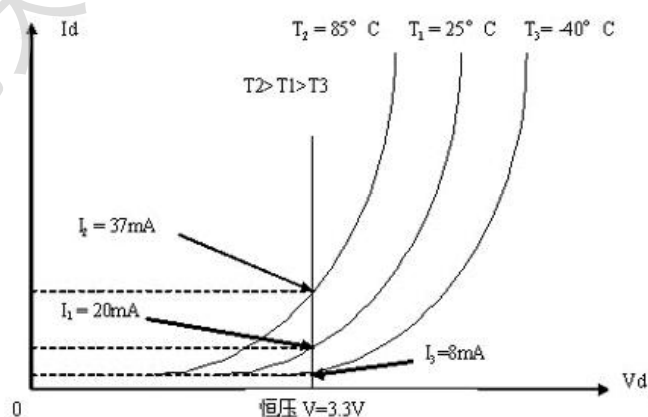


图 2.1 不同温度下 LED 的伏安特性曲线^[33]

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库